

# The Affected Analysis of Pipeline Thermal Stress Under Different Support Conditions and Wall Thickness Based on Finite Element Simulation

Sun Ying, Lv Chao

School of Civil Engineering and Architecture, Northeast University of Petroleum, Daqing, China

**Email address:**

wwwruining@163.com (Sun Ying), 1553525876@qq.com (Lv Chao)

**To cite this article:**

Sun Ying, Lv Chao. The Affected Analysis of Pipeline Thermal Stress Under Different Support Conditions and Wall Thickness Based on Finite Element Simulation. *Science Discovery*. Vol. 5, No. 5, 2017, pp. 362-368. doi: 10.11648/j.sd.20170505.20

**Received:** June 28, 2017; **Accepted:** July 18, 2017; **Published:** August 17, 2017

**Abstract:** When gas transmission pipelines are working, due to being heated or cold and expansion and contraction, the pipes will produce thermal stress. Thus the stress poses a threat to pipeline working. Therefore, this article will adopt the method of model simulation and establish a channel space finite element model, then the ANSYS finite element analysis software will be applied to the calculation of thermal stress of the pipelines. Finally, we will do some research and analysis of the factors affecting the thermal stress in pipeline. The results show that the temperature had a greater influence on the thermal stress of pipeline, when the larger internal and external temperature difference of the pipeline get, the greater thermal stress the pipes produce. Secondly, the wall thickness of pipelines also affects thermal stress. Under the condition of the constant pipe diameter, thermal stress produced by pipes becomes small with the increase of pipe wall thickness. Lastly, with the fixed constraint on one end of the pipeline, the produced thermal stress is significantly larger than unconstrained condition and situation of constraints on two ends, etc. So it is suggested that the space between anchor blocks on pipelines cannot be too small, which means we should minimize that condition of the fixed constraint on one end of the pipeline.

**Keywords:** Pipeline, Finite Element, Temperature, Wall Thickness, Thermal Stress, Support Condition

---

## 基于有限元模拟不同支座及壁厚对输气管道热应力影响的研究

孙颖, 吕超

土木建筑工程学院, 东北石油大学, 大庆, 中国

**邮箱:**

wwwruining@163.com (孙颖), 1553525876@qq.com (吕超)

**摘要:** 输气管道在工作情况下, 管道结构在受热或受冷时, 因热胀冷缩产生变形且变形受到某些限制, 管道中会产生热应力, 并对管道正常运作造成威胁。因此, 采用模型模拟分析的方法, 建立空间管道有限元模型, 并应用ANSYS有限元分析软件, 对管道中产生的热应力进行计算, 并就影响管道中热应力的因素进行研究分析。结果表明: ①温度变化对管道热应力影响较大, 管道内外温差越大, 管道产生的热应力越大。②管道壁厚也会对管道热应力产生影响, 在管径不变的情况下, 随着管道壁厚的增大, 管道产生的热应力越小。③无约束情况下的管道热应力明显大于一端约束和两端同时约束, 而两端约束下热应力最小等, 所以建议管道铺设时固定墩间距不能太小, 即尽量减少出现一端约束的情况。

**关键词:** 管道, 有限元, 温度, 壁厚, 热应力, 支座情况

---

### 1. 引言

近年来，全球能源消耗日益增加，尤其是对一些如天然气此类的清洁能源需求逐渐增大，世界各地的长距离输气管道工程也逐年增多。截止到2012年底，中国天然气输运主干管道已达5.5万公里，2014年，中国又与俄罗斯签署了千亿天然气购销协议[1,2]，未来中国将建成全面的天然气输气管网，因此对输气管道应力变化及分布的研究就很有必要。各国学者首先对管道泄漏极其破坏做了相当的研究，对泄漏产生的射流建立气体扩散模型，并分析影响泄漏扩散的影响因素[3,4]。也有一学者对埋地管道温度场进行了有关研究[5]，较少对管道热应力极其产生的应影响因素进行分析，因此从热结构耦合方向对管道热应力产生及影响其大小分布的因素进行研究分析，能对今后管道设计，施工及研究提供帮助。

### 2. 研究分析方法

热结构耦合场的分析可以归结为两种方法：间接法和直接法。直接耦合法仅通过一次求解就得到耦合场，适用于多个物理场各自的响应相互依靠的情形。直接耦合场分析往往计算量庞大，耗费的机时多，间接耦合法是按照顺序进行两次或者更多次的相关场分析，通过吧第一次场分析的结果作为第二次场分析的载荷来实现两中场的耦合，间接耦合法可获得独立的多个场分析，且比直接耦合发计算量小，效率更高。分析将采用间接耦合法，先进性非线性的管道热分析，在进行静态结构分析，以达到最终分析目的。有限元模拟分析过程流程图1所示。

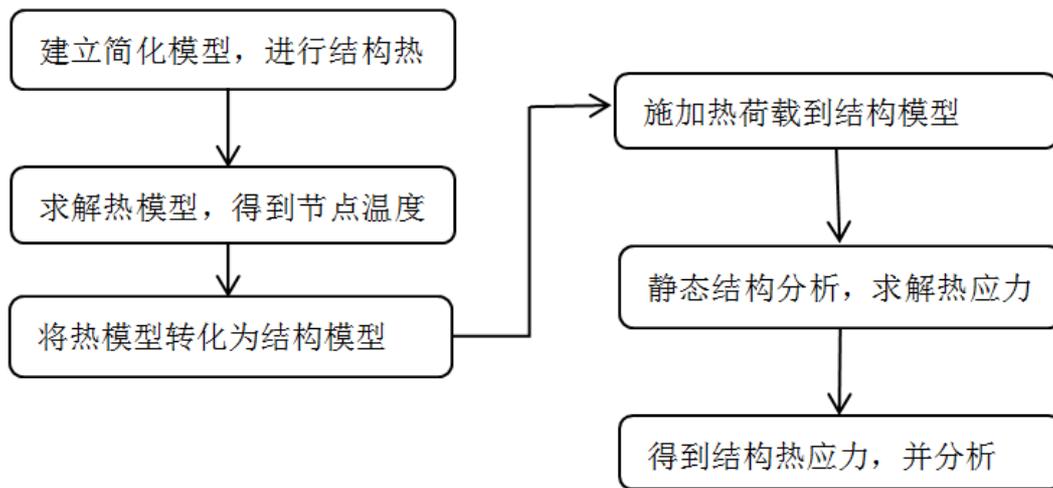


图1 热结构耦合分析流程图。

### 3. 有限元模型

为分析管道热应力影响因素，建立三维空间管道模型，模型在空间上为Z轴对称轴的圆柱，在径向上为y轴对称轴的圆环，采用体单元SOLID70建立热分析三维模型，首先对模型进行热分析，接着转换为SOLID185结构单元，对结构模型进行结构分析。参考文献[6-8]，具体参数：材料管线钢X80，管径1219mm，厚度16mm~30mm，弹性模量 $2.06 \times 10^5$ MPa，泊松比0.3，传热系数14.7W/(m·K)，管内温度在10℃~50℃范围取27℃，管道外部温度10℃~50℃，热膨胀系数 $1.2 \times 10^{-5}$ ，屈服强度520~620MPa。模型约束情况采用约束管道Y轴方向上X方向的位移，约束管道X轴方向上Y方向的位移，固定约束施加在端面上。模型网格划分采用六面体单元，映射法划分网格，径向网格划分长度0.0025mm，轴向圆周网格划长度5rad，圆环面划分网格数为2，总共划分为28800个单元，最终网格划分结构结果如图3，图4所示。

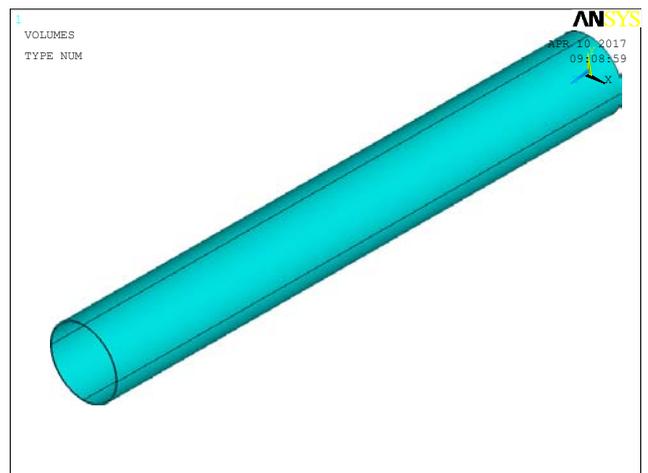


图2 管道三维有限元模型。

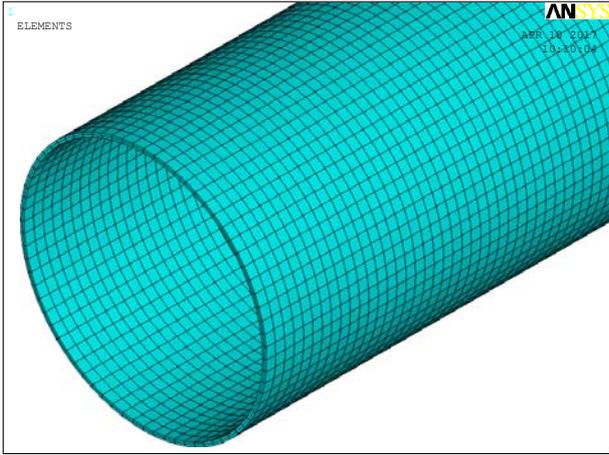


图3 局部网格划分图。

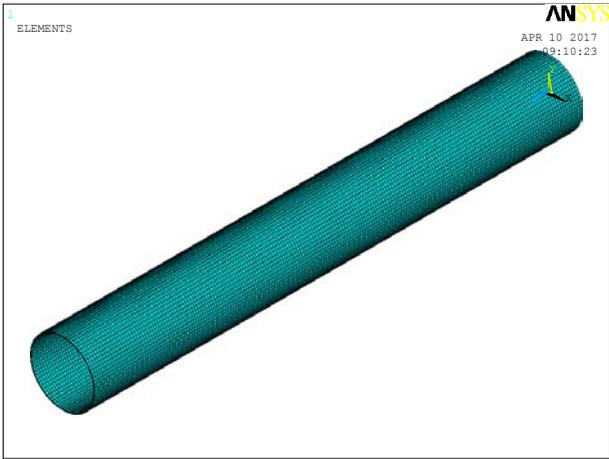


图4 全局网格划分图。

### 4. 有限元模型分析

根据文献[9-11]理论分析可知,内压为输气压力8~12 MPa,但通常管道内压在管道内均匀分布,则对管道热应力影响不大。外压主要包括管道外覆土层压力以及管道自重产生的自重压力,大多数埋地管道埋深为3~5 m,大多均为砂土,由钢管和覆土层密度计算可知管道外压小于1 MPa,即使在管道外壁非均匀分布,但因远小于管道的屈服强度520~620MPa,则管道输气过程中可以忽略外壁压力对管道造成的影响。影响管道热应力大小及分布的因素分析主要为管道壁厚、温度以及支座情况,且实际工程中管道存在固定墩来约束管道,则支座情况考虑固定端位置的不同来分析研究。

根据以上分析,为分析温度效应对管道热应力大小及分布的影响情况,采用管道壁厚20mm情况,建立有限元模型,管道长10m,设定管内温度27℃,改变管外温度值作为变量,使管道外温度由10℃逐渐增加到50℃,进行模拟计算分析,最终管道最大热应力结果如图5所示。由计算结果分析可知,当管道内温度大于管道外时随着温度升高管道最大热应力逐渐减小,最大热应力出现在管道外壁;当管道内温度小于管道外时随着温度升高管道最大热应力逐渐增加,最大热应力值出现在管道内壁;当管道内外温度差越大时,管道中产生的热应力值就越大,这说明温差对管道热应力产生的影响较为明显,其为管道热应力变化的主要因素。如图7、图8所示,为管道外分别在20℃和40℃时管道环向热应力分布云图。

在16mm, 30mm情况下,各温度值下管道热应力计算结果如图6所示,也可得出以上结论。而且管道在30℃时出现热应力最小值,正是由于此时管道内外的温度差最小,才会有此变化,亦说明温差会对管道热应力产生影响。

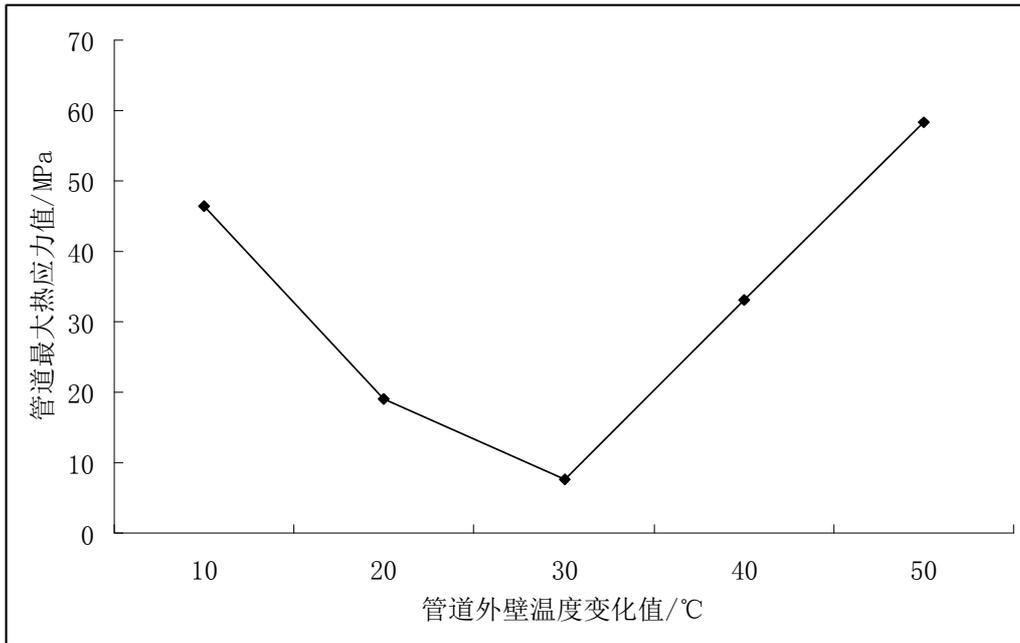


图5 各温度值下管道热应力计算结果图。

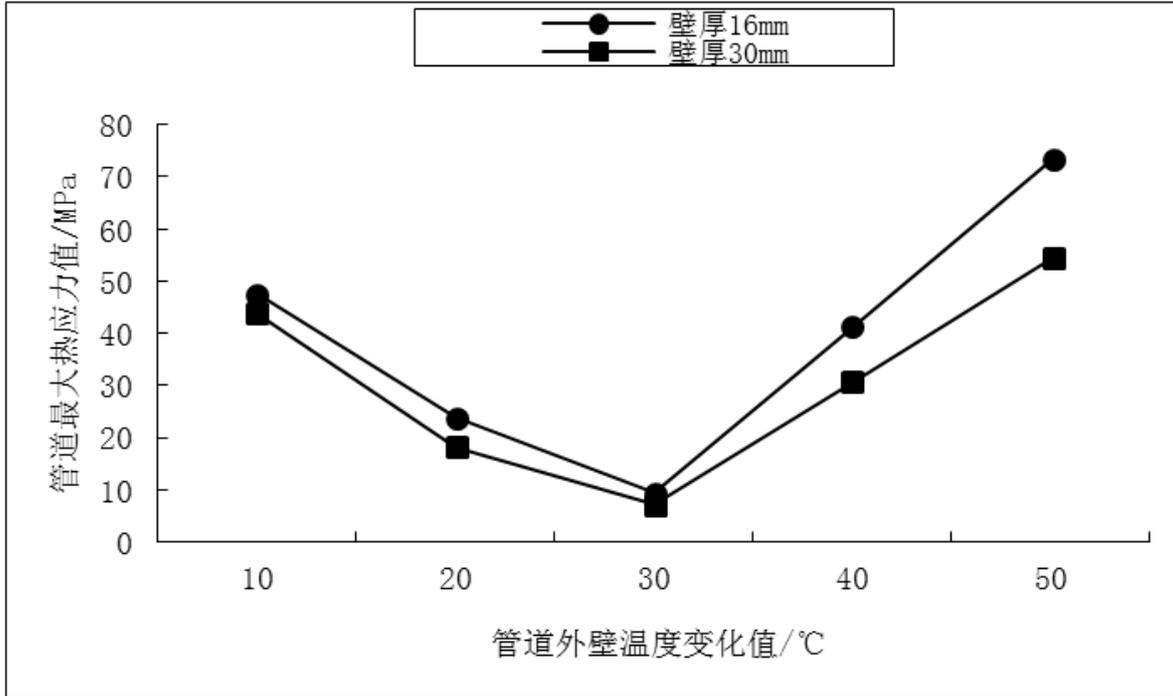


图6 不同壁厚各温度下管道热应力计算结果图。

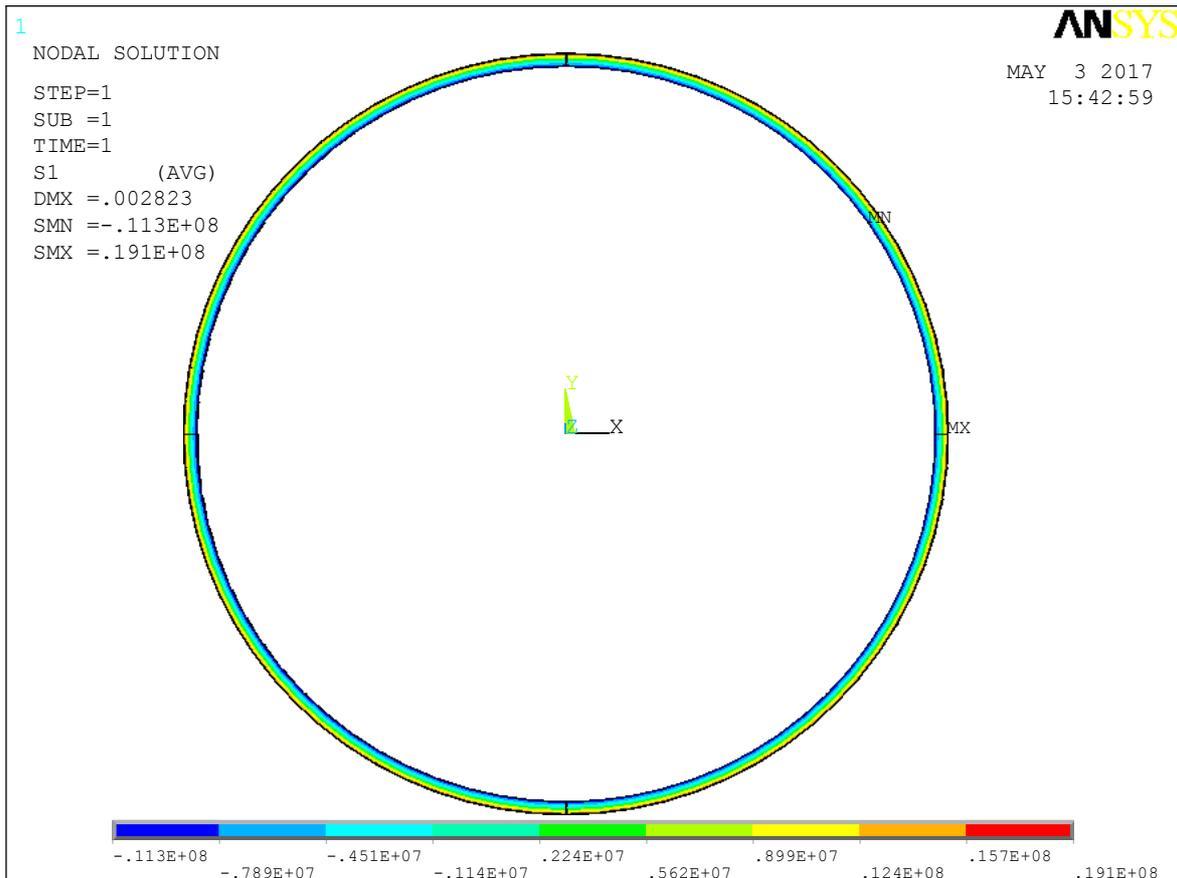


图7 管外20°C时管道环向热应力分布云图。

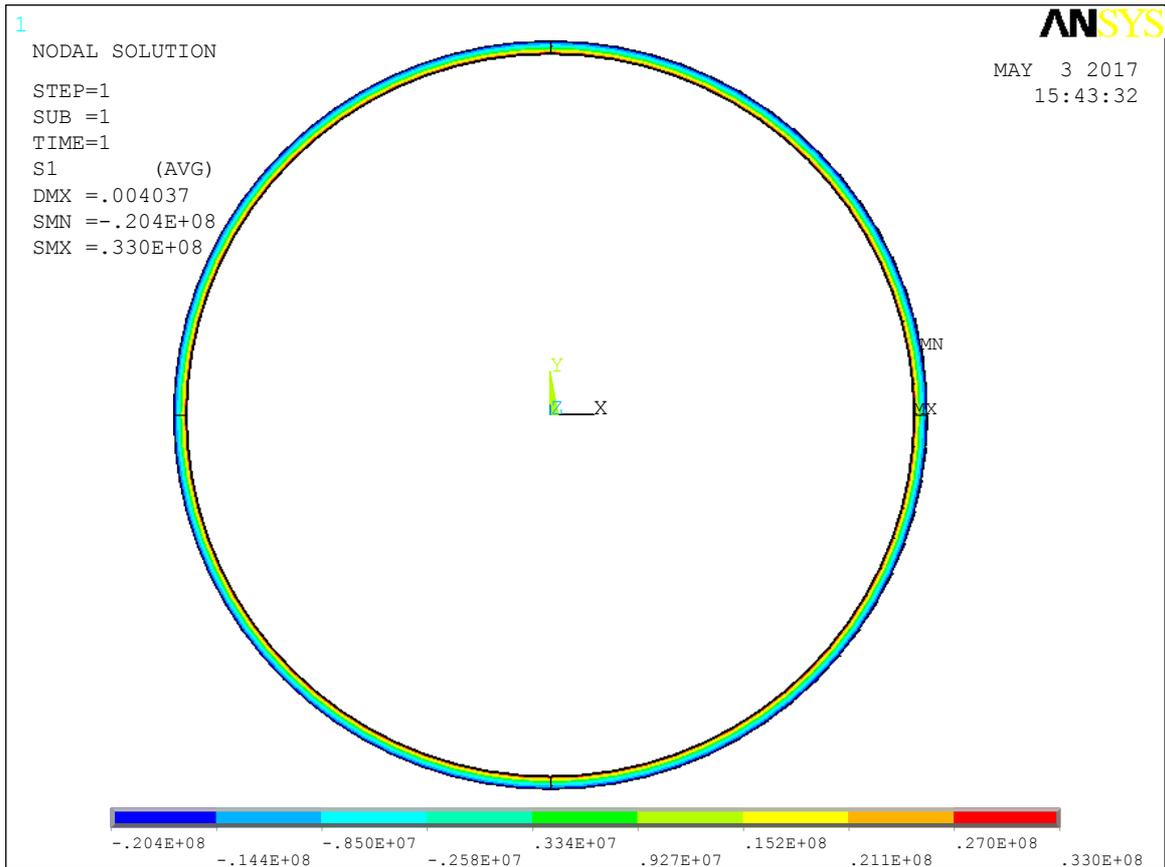


图8 管外40°C时管道环向热应力分布云图。

为分析不同壁厚情况下管道热应力大小及分布情况,采用不同管道壁厚情况,取不同壁厚为16mm, 20mm, 30mm, 建立有限元模型,管道10m, 设定管内温度27°C, 改变管外温度值作为变量,使管道外温度由10°C逐渐增加到50°C,对管道两端进行固定约束,最终管道最大热应力结果如图9所示。

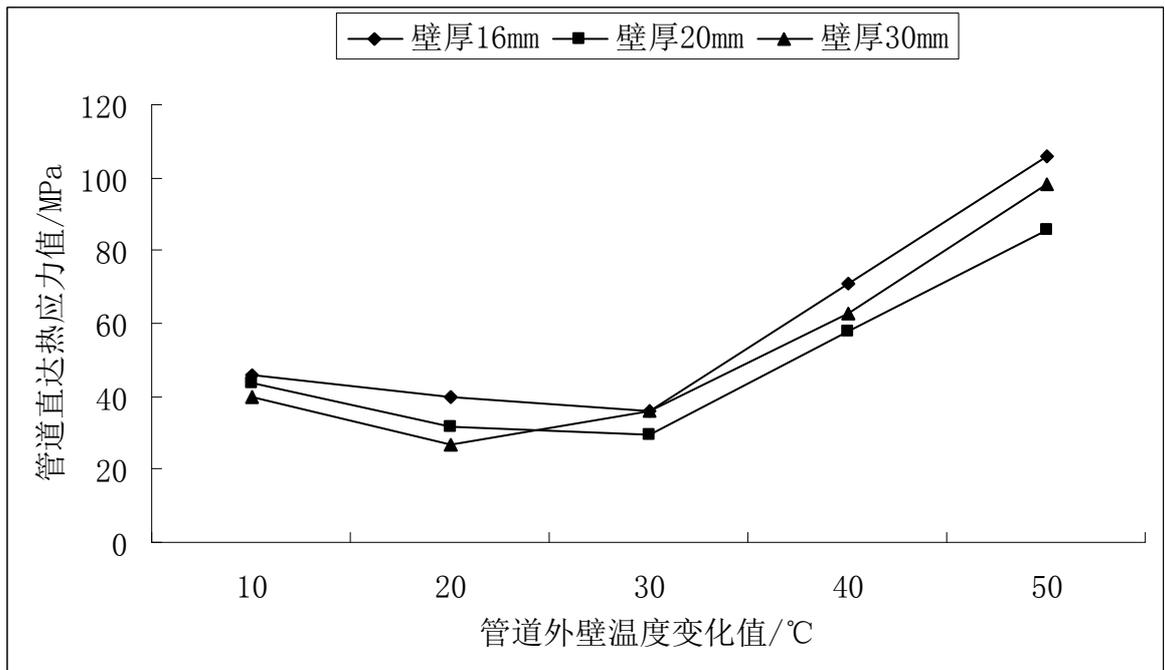


图9 不同管道壁厚下管道热应力计算结果图。

由计算结果分析可知，对比结果图中的三条折线，可以发现随着管道壁厚的增大，管道最大热应力值逐渐减小，但减少幅度不大，且随着管道壁厚达到20mm后，壁厚对管道热应力的影响逐渐减小，即使壁厚从20mm增加到30mm，增加了10mm壁厚的管道也没有16mm到20mm增加

了4mm的管道对热应力影响大；如表1，下面是一组两端固定端约束的数据表也同样得到了以上的结论。由此说明，无论支座情况如何变化，温度效应仍是管道热应力变化的主要因素。

表1 两端固定约束时不同壁厚管道最大热应力值。

温度/℃	(16mm) 热应力/MPa	(20mm) 热应力/MPa	(30mm) 热应力/MPa
10	62.7	55.5	46.9
20	50.3	36.8	44.4
30	86.5	71.0	78.5
40	130.0	106.0	113.0
50	174.0	141.0	147.0

为研究不同固定端位置下热应力大小及分布情况，拟采用20mm壁厚的管道分别建立无约束情况、一端固定约束情况及两端固定约束情况三种模型，设置管道直径1219mm，管道内部温度27℃，管道外壁温度作为自变量，由10℃增加到50℃，最终热应力计算结果如图10所示，图11为一端固定约束时20℃和30℃管道热应力计算结果云图。

从图11分析可得无论管道外温度大于还是小于管内温度一端约束时管道最大热应力出现在固定约束处，不同的是20℃时管内热应力小于管外，30℃时则正好相反。在实际工程中应当在固定端处采取相应的措施，避免过多的应力集中对管道产生破坏。

由计算结果分析可知，对比不同支座情况的三条折线图，可以得到不同固定端约束情况对管道热应力也有不同情况的影响，但相较温度效应影响的程度较小。当管道只一端为固定约束时管道产生热应力最大，两端固定约束次之，无约束时热应力最小，且随着温度的增加变化幅度也越来越大，明显大于其他两种情况；一端约束时折线转折点在20℃时，相较另外两种情况的30℃要早，说明相较另外两种情况一端固定时管道产生的热应力随温度变化较为剧烈；而两端约束情况和约束情况下管道热应力变化相对平缓，其中有约束时热应力会比无约束时大一些，随温度管道热应力变化规律与无约束时相似。所以建议管道铺设时固定墩间距不能太大，即尽量减少出现一端约束情况，以减少管道产生较大热应力对管道产生破坏以及对正常工作产生影响。

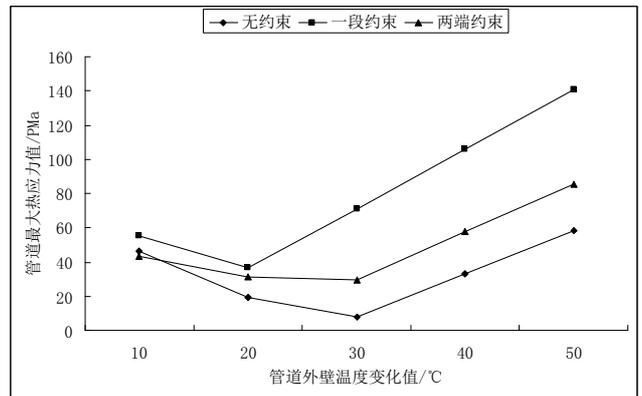


图10 不同固定端位置管道最大热应力值。

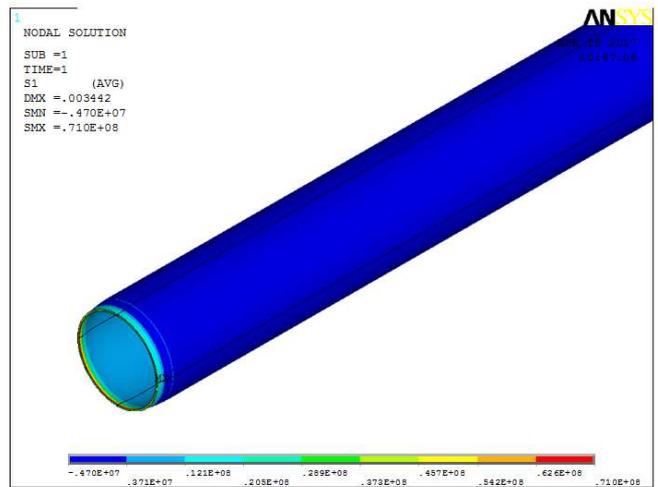
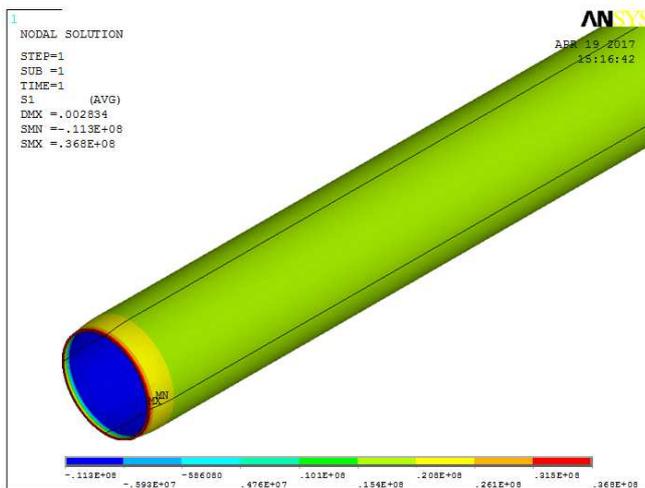


图11 20mm壁厚一端约束时管道热应力分布云图 (a: 外壁20℃ b: 外壁30℃)。

## 5. 结论

1) 温度变化对管道热应力大小及分布均有较大的影响, 管道内外温差越大, 管道热应力值就越大; 且当管内温度大于管外温度时, 最大热应力分布在管道外侧, 当管内温度小于管外时, 最大热应力分布在管道内部。

2) 不同壁厚也会对管道热应力产生影响, 随着管道壁厚的增大, 管道热应力相应的减小, 但变化幅度不大, 且壁厚超过20mm后热应力增加量明显变小, 所以建议管道壁厚取18~20mm较为合理。

3) 不同固定端约束情况对管道热应力也有不同情况的影响, 一端固定约束是管道热应力最大, 两端固定约束次之, 无约束时热应力最小, 且一端约束时的应力明显大于其他两种情况, 所以建议管道铺设时固定墩间距不能太小, 即尽量减少出现一端约束情况; 若必须增设短距固定墩时应加强保温措施, 减少管道内外热量的传递, 从而降低热应力。

## 致谢

基金项目: 国家自然科学基金 (51578120)

## 参考文献

- [1] 王保群, 林燕红, 焦中良. 我国天然气管道现状与发展方向[J]. 国际石油经济, 2013, 08:76-79+109-110。
- [2] 中国油气管道建设发展现状[J]. 水泵技术, 2015, 01:51-52。
- [3] 肖建兰, 吕保和, 王明贤, 周加倍. 气体管道泄漏模型的研究进展[J]. 煤气与热力, 2006, 02:7-9。
- [4] 侯庆民. 天然气管道泄漏与天然气在大气中扩散的模拟研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2009。
- [5] 朱彤, 严磊, 吴家正, 等. 燃气管道温度场的分析与计算[J]. 煤气与热力 2004, 24(1):5-8。
- [6] 李茂华, 石磊彬, 钟威, 高剑锋. 内外压热应力影响下西气东输二线长输管道变形的有限元分析[J]. 天然气工业, 2013, 08:119-124。
- [7] 薛景宏. 跨断层隔震管道分析[D]. 中国地震局工程力学研究所, 2008。
- [8] 赵鑫晨. 天然气管道失效着火对相邻管道影响研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2013。
- [9] 冯继蓓, 孙蕾, 何辛. 安定性分析在热力管道设计中的应用[J]. 特种结构, 2007, 03:58-60。
- [10] 李坚. 管道应力分析及柔性设计[J]. 炼油技术与工程, 2010, 01:61-64。
- [11] 张立松, 闫相祯, 杨秀娟. 长输油气管道强度与优化设计软件[J]. 油气储运, 2009, 12:25-27+79+4+3。

## 作者简介



孙颖 (1976-), 女, 博士, 副教授, 主要从事油气田防灾减灾工程及防护工程方面研究。



吕超 (1991-) 男, 在校硕士生, 主要从事石油与化工防灾减灾给出方面的研究。